

POWERED BY **Dialog****BEST AVAILABLE COPY**

PLANAR GALVANOMIRROR PROVIDED WITH DISPLACEMENT DETECTING FUNCTION AND ITS PRODUCTION**Publication Number:** 07-218857 (JP 7218857 A) , August 18, 1995**Inventors:**

- ESASHI MASAKI
- ASADA NORIHIRO

Applicants

- ESASHI MASAKI (An Individual), JP (Japan)
- NIPPON SIGNAL CO LTD THE (A Japanese Company or Corporation), JP (Japan)

Application Number: 06-009824 (JP 949824) , January 31, 1994**International Class (IPC Edition 6):**

- G02B-026/10

JAPIO Class:

- 29.2 (PRECISION INSTRUMENTS--- Optical Equipment)

JAPIO Keywords:

- R002 (LASERS)

Abstract:

PURPOSE: To provide a thin and smart-sized galvanomirror whose angle of displacement can be detected.

CONSTITUTION: A mobile plate 5 and a torsion bar 6 axially supporting this mobile plate 5 are formed as one body on a silicon substrate 2 by a semiconductor element production technique. A total reflection mirror 8 is driven through the mobile plate 5 by the driving current flowing to a plane coil 7 on the mobile plate 5 side and the magnetic force of permanent magnets 10A, 10B, 11A, and 11B on the sides of glass substrates 3 and 4. The lower glass substrate 4 out of glass substrates 3 and 4 coupled on and under the silicon substrate 2 is provided with detection coils 12A and 12B, and a detection current is superposed on the driving current is made flow to the plane coil 7, and thereby, the angle of displacement of the mirror is detected by the change of the mutual inductance between the plane coil 7 and detection coils 12A and 12B based on this detection current. This galvanomirror is produced by the production process of semiconductor elements.

JAPIO

© 2005 Japan Patent Information Organization. All rights reserved.
Dialog® File Number 347 Accession Number 4926257

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平7-218857

(43)公開日 平成7年(1995)8月18日

(51)Int.Cl.⁶

G 0 2 B 26/10

識別記号

1 0 4

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

審査請求 有 請求項の数 5 O L (全 19 頁)

(21)出願番号 特願平6-9824

(22)出願日 平成6年(1994)1月31日

(71)出願人 000167989

江刺 正喜

宮城県仙台市太白区八木山南1丁目11番地
9

(71)出願人 000004651

日本信号株式会社

東京都千代田区丸の内3丁目3番1号

(72)発明者 江刺 正喜

宮城県仙台市太白区八木山南1-11-9

(72)発明者 浅田 規裕

埼玉県浦和市上木崎1丁目13番8号 日本
信号株式会社与野事業所内

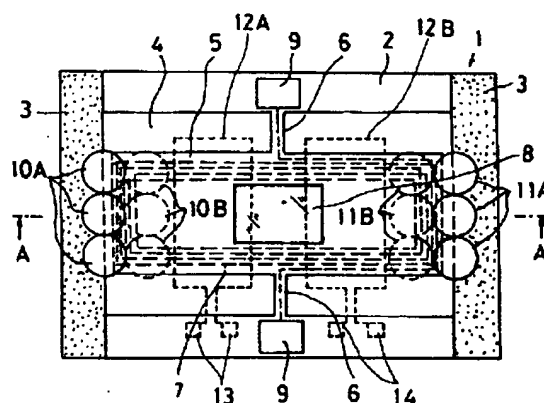
(74)代理人 弁理士 笹島 富二雄

(54)【発明の名称】 変位検出機能を備えたブレーナー型ガルバノミラー及びその製造方法

(57)【要約】

【目的】薄型及び小型で且つミラーの変位角を検出できるガルバノミラーを提供する。

【構成】シリコン基板2に、可動板5と該可動板5を軸支するトーションバー6とを半導体素子製造技術で一体形成する。可動板5側の平面コイル7に流す駆動電流とガラス基板3、4側の永久磁石10A、10B及び11A、11Bによる磁気力によって可動板5を介して全反射ミラー8を駆動する。また、シリコン基板2の上下に結合するガラス基板3、4のうちの下側ガラス基板4に、検出コイル12A、12Bを設け、平面コイル7に、駆動電流に重畳させて検出電流を流すことにより、この検出電流に基づく平面コイル7と検出コイル12A、12Bとの間の相互インダクタンスの変化によってミラーの変位角検出を行う。また、このガルバノミラーを半導体素子の製造プロセスによって製造する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】半導体基板に、平板状の可動板と該可動板を半導体基板に対して基板上下方向に揺動可能に軸支するトーションバーとを一体形成し、前記可動板の上面周縁部に可動板駆動用電流と変位検出用電流とを通電可能な平面コイルを敷設し、該平面コイルで囲まれる上面中央部に反射鏡を設ける一方、半導体基板の下面に下側絶縁基板を設け、半導体基板の上面には前記反射鏡への外部からの入射光及び外部への反射光が通過可能な上側絶縁基板を設け、前記トーションバーの軸方向と平行な可動板の対辺の平面コイル部に磁界を作用させる互いに対をなす永久磁石を前記上下絶縁基板に固定する構成のブレーナー型ガルバノミラーであって、前記下側絶縁基板側に、前記平面コイルと電磁結合可能で前記可動板の変位を検出するための複数の検出コイルを設け、これら検出コイルは、前記トーションバーに対して略対称位置に配置される構成であることを特徴とする変位検出機能を備えたブレーナー型ガルバノミラー。

【請求項2】前記可動板が、第1のトーションバーで半導体基板に対して軸支される枠状の外側可動板と、前記第1のトーションバーと軸方向が直交する第2のトーションバーで前記外側可動板の内側に軸支される内側可動板とからなり、前記外側可動板の上面に第1の平面コイルを設け、前記内側可動板の上面周縁部に第2の平面コイルを設けると共に、当該第2の平面コイルで囲まれた内側可動板中央部に前記反射鏡を設ける構成であり、前記検出コイルが、第1及び第2のトーションバーに対してそれぞれ対称位置に配置される構成である請求項1記載の変位検出機能を備えたブレーナー型ガルバノミラー。

【請求項3】前記上側絶縁基板が、透光性を有するガラス基板で構成され、上下側絶縁基板と半導体基板とで囲まれる可動板収納空間を密閉空間として真空状態とする構成とした請求項1又は2に記載の変位検出機能を備えたブレーナー型ガルバノミラー。

【請求項4】前記上側絶縁基板が、透光性を有するガラス基板で構成され、上下側絶縁基板と半導体基板とで囲まれる可動板収納空間を密閉空間とし、この密閉空間内に不活性ガスを封入する構成とした請求項1又は2に記載の変位検出機能を備えたブレーナー型ガルバノミラー。

【請求項5】半導体基板のトーションバー形成部分を除いて基板の下面から上面に向けて異方性エッチングより貫通させて前記トーションバー部分で半導体基板に揺動可能に軸支される可動板を形成する工程と、可動板上面周囲に電解めっきにより平面コイルを形成する工程と、平面コイルで囲まれた可動板中央部にアルミニウムの蒸着により反射鏡を形成する工程と、下側絶縁基板の所定位置に検出コイルを形成する工程と、半導体基板の上下面に陽極接合により下側絶縁基板と少なくとも可動板上

方部分が光の通過が可能な構造の上側絶縁基板とを固定する工程と、トーションバー軸方向と平行な可動板の対辺に対応する上側絶縁基板部分と下側絶縁基板部分に永久磁石を固定する工程とからなる変位検出機能を備えたブレーナー型ガルバノミラーの製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、例えばレーザ光のスキヤニングシステム等に適用するガルバノミラーに関し、特に、レーザ光をスキャンする反射鏡の変位検出を可能とする極めて小型のブレーナー型ガルバノミラー及びその製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】ガルバノミラーは、レーザ光を偏向走査するレーザスキャナ等に利用されるもので、その原理は、磁界中に配置した可動コイルに電流を流すと、電流と磁束とに関連して電磁力が発生して電流に比例した回転力（トルク）が生じる。このトルクとバネ力とが平衡する角度まで可動コイルが回転し、この可動コイルを介して指針を振らせて電流の有無や大小を検出するというガルバノメータの原理を利用したもので、可動コイルと一体に回転する軸に、前記指針の代わりに反射鏡を設けて構成される。

【0003】そして、従来の実用的なガルバノミラーとしては、例えば、磁界中に配置する可動コイルの代わりに可動鉄片を用い、その周囲に2つの永久磁石と4つの磁極を設けた磁性体とで磁路を構成し、前記磁性体に巻回した駆動コイルに流す電流の大小及び方向によって磁極間の磁束を変化させることにより、可動鉄片を介して反射鏡を回転させ、レーザ光を偏光走査するようにしたものがある（例えば、共立出版株式会社「実用レーザ技術」、P210～212、1987年12月10日発行、等参照）。

【0004】しかし、上記の構成のガルバノミラーでは、駆動コイルが機械巻き等であることから小型化することが難しい。そこで、かかるガルバノミラーの小型化を図った技術として、例えば特開平4-211218号公報等に開示されたものがある。このものは、枠部分と、反射鏡部分及び枠に反射鏡部分を軸支するビーム部分を、シリコン基板を用い半導体製造プロセスを利用して一体的に成形したもので、これらシリコン基板で形成した部分を、反射鏡部分を回転駆動するための電極を設けたガラス基板上に配置し、反射鏡部分と前記電極間に作用する静電引力を利用して反射鏡を回転駆動するように構成されている。そして、ガルバノミラーの小型化を損なうことなく小さい駆動力で板状部材を駆動させることを目的として、前記ビーム部分をS字状にすることで少ないスペースに長いビームを形成しそのねじり剛性を小さくするようにしている。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】ところで、ガルバノミラーでは、オープンループでミラーの変位角を制御するのが一般的であるが、ミラーの変位角を検出し、その検出信号をミラーの駆動系にフィードバックすることでミラーの変位角を高精度に制御することができる。そして、上述のようなプレーナー型ガルバノミラーにおけるミラーの変位角検出方法としては、図24に示すような光式と図25に示すような静電容量式等が考えられる。

【0006】図24の光式では、軸51を中心に回転する反射鏡52の裏面側の中心位置に、例えば光ファイバ53等を用いて光ビームを当て、その反射光をガラス基板54側に設けたPSD55で受光する。そして、反射鏡52の角度変位に伴う反射光のPSD55への入射位置Xの変化を検出して反射鏡52の変位角 ϕ を検出する。尚、前記入射位置Xは、ガラス基板54から水平位置にある反射鏡52までの距離をL、水平位置にある反射鏡52と光ファイバ53からの光ビームとのなす角を θ とした時に、 $X = L / \tan(\theta + \phi)$ として表される。

【0007】この方法では、光路が短いため光ビームのパワーの減衰が少なく検出信号を大きくできる等の利点があるが、光路が短いため光ビーム径を可能な限り絞らないと最小検出角度（反射鏡の角度検出の分解能）が制限される、入射光ビームの角度と軸合わせが難しい、超薄型のPSDが必要である等の欠点を有する。また、図25の静電容量式では、反射鏡52の裏面側に軸51に対して対称位置に電極56A、57Aを設け、ガラス基板4側に前記電極56A、57Aと対をなす電極56B、57Bを設けて、コンデンサC1、C2を構成し、反射鏡52の角度変位に伴う両コンデンサC1、C2の容量差に基づいて反射鏡52の変位角を検出する。

【0008】この方法では、反射鏡52の単位角度当たりの変位量に対してコンデンサC1、C2のギャップ（ガラス基板54と水平位置にある反射鏡52との距離L）が極めて大きく、反射鏡52の角度変化に対するコンデンサC1、C2の容量変化分が小さくやはり反射鏡の角度検出の分解能が制限されること、反射鏡52の裏面の電極56A、57Aから配線を引き出す必要があり反射鏡部分の製造が面倒である等の欠点を有する。

【0009】本発明は上記の事情に鑑みなされたもので、半導体製造プロセスを利用したプレーナー型ガルバノミラーにおけるミラーの変位を、コイル間の電磁結合による相互インダクタンス変化に変換して検出させることにより、反射鏡の角度変位を高分解能で検出可能にすると共に、製造プロセスの容易な変位検出機能を備えたプレーナー型ガルバノミラーを提供することを目的とする。また、このような変位検出機能を備えたプレーナー型ガルバノミラーの製造方法を提供することを目的とする。

【0010】

【課題を解決するための手段】このため本発明のプレー

ナー型ガルバノミラーでは、半導体基板に、平板状の可動板と該可動板を半導体基板に対して基板上下方向に揺動可能に軸支するトーションバーとを一体形成し、前記可動板の上面周縁部に可動板駆動用電流と変位検出用電流とを通電可能な平面コイルを敷設し、該平面コイルで囲まれる上面中央部に反射鏡を設ける一方、半導体基板の下面に下側絶縁基板を設け、半導体基板の上面には前記反射鏡への外部からの入射光及び外部への反射光が通過可能な上側絶縁基板を設け、前記トーションバーの軸方向と平行な可動板の対辺の平面コイル部に磁界を作用させる互いに対をなす永久磁石を前記上下絶縁基板に固定する構成のプレーナー型ガルバノミラーであって、前記下側絶縁基板側に、前記平面コイルと電磁結合可能で前記可動板の変位を検出するための複数の検出コイルを設け、これら検出コイルは、前記トーションバーに対して略対称位置に配置される構成とした。

【0011】また、前記可動板が、第1のトーションバーで半導体基板に対して軸支される枠状の外側可動板と、前記第1のトーションバーと軸方向が直交する第2のトーションバーで前記外側可動板の内側に軸支される内側可動板とからなり、前記外側可動板の上面に第1の平面コイルを設け、前記内側可動板の上面周縁部に第2の平面コイルを設けると共に、当該第2の平面コイルで囲まれた内側可動板中央部に前記反射鏡を設ける構成であり、前記検出コイルが、第1及び第2のトーションバーに対してそれぞれ対称位置に配置される構成とする。とよい。

【0012】また、上側絶縁基板が、透光性を有するガラス基板で構成され、上下側絶縁基板と半導体基板とで囲まれる可動板収納空間を密閉空間として真空状態とする構成とする。とよい。また、前記上側絶縁基板が、透光性を有するガラス基板で構成され、上下側絶縁基板と半導体基板とで囲まれる可動板収納空間を密閉空間とし、この密閉空間内に不活性ガスを封入する構成とする。とよい。

【0013】本発明のガルバノミラーの製造方法では、半導体基板のトーションバー形成部分を除いて基板の下面から上面に向けて異方性エッチングより貫通させて前記トーションバー部分で半導体基板に揺動可能に軸支される可動板を形成する工程と、可動板上面周囲に電解めっきにより平面コイルを形成する工程と、平面コイルで囲まれた可動板中央部にアルミニウムの蒸着により反射鏡を形成する工程と、下側絶縁基板の所定位置に検出コイルを形成する工程と、半導体基板の上下面に陽極接合により下側絶縁基板と少なくとも可動板上方部分が光の通過が可能な構造の上側絶縁基板とを固定する工程と、トーションバー軸方向と平行な可動板の対辺に対応する上側絶縁基板部分と下側絶縁基板部分に永久磁石を固定する工程とからなることを特徴とする。

【0014】

【作用】かかる構成によれば、半導体素子製造プロセスを利用して半導体基板に反射鏡可動部を形成すると共に、反射鏡可動部に設けた平面コイルと電磁結合する反射鏡変位角検出用の検出コイルを下側絶縁基板に設け、平面コイルに駆動電流に重畳して検出電流を通電する。これにより、反射鏡の変位角変化に応じて平面コイルと検出コイル間の相互インダクタンスが変化するので、この変化を検出すれば反射鏡の変位角が検出できる。

【0015】このようにすれば、検出コイルの巻数に応じて相互インダクタンスの検出値が変化するので、反射鏡の変位角の検出分解能に合わせて検出コイルの巻数を設定すればよい。また、反射鏡側には何ら新たに付加するものではなく、従来のプレーナー型ガルバノミラーと同じであるので、製造が容易である。また、可動板を反射鏡と平面コイルを設けた内側可動板と平面コイルのみを設けた外側可動板とに分割構成し、内側可動板を軸支するトーションバーと外側可動板を軸支するトーションバーとを互いに直交するよう配置すると共に、各可動板の平面コイルに対応させて検出コイルを所定位置に配置する構成とすれば、各可動板の変位角度の検出が可能であると共に、レーザ光の偏光走査を2次元で行うことができレーザ光等のスキャン領域を拡大できる。

【0016】更に、可動板の収納空間を密閉して真空封止するようにすれば、空気等による可動板の回転抵抗を低減できるようになり、可動板の追従性を高めることができるようになる。また、密閉空間に不活性ガス（ヘリウム、アルゴン等）を封入するようにすれば、可動板の変位量を大きくするべく平面コイルに流す駆動電流を大きくした場合に、平面コイルの発熱の影響を真空の場合に比べて低減できる。

【0017】

【実施例】以下、本発明の実施例を図面に基づいて説明する。図1及び図2に本発明に係るプレーナー型ガルバノミラーの第1実施例を示す。これはトーションバーが1軸の場合の例である。図1及び図2において、ガルバノミラー1は、半導体基板であるシリコン基板2の上下面に、それぞれ例えばホウケイ酸ガラス等からなる上側及び下側絶縁基板としての平板状の上側及び下側ガラス基板3、4を陽極接合した3層構造となっている。前記上側ガラス基板3は、後述する可動板5上方部分を開放するようシリコン基板2の図1の左右端に積層されている。

【0018】前記シリコン基板2には、平板状の可動板5と、この可動板5の中心位置でシリコン基板2に対して基板上下方向に揺動可能に可動板5を軸支するトーションバー6とが半導体製造プロセスにおける異方性エッチングによって一体形成されている。従って、可動板5及びトーションバー6もシリコン基板2と同一材料からなっている。前記可動板5の上面周縁部には、可動板5駆動用の駆動電流と、この駆動電流に重畳する変位角検

出用の検出電流とを流すための銅薄膜からなる平面コイル7が、絶縁被膜で覆われて設けられている。前記検出電流は、下側ガラス基板4に後述するように設けられる検出コイル12A、12Bとの相互インダクタンスに基づいて可動板5の変位を検出するためのものである。

【0019】ここで、コイルは抵抗分によってジュール熱損失があり抵抗の大きな薄膜コイルを平面コイル7として高密度に実装すると発熱により駆動力が制限されることから、本実施例では、従来公知の電解めっきによる電鍍コイル法によって前記平面コイル7を形成してある。電鍍コイル法は、基板上にスパッタで薄いニッケル層を形成し、このニッケル層の上に銅電解めっきを行って銅層を形成し、コイルに相当する部分を除いて銅層及びニッケル層を除去することで、銅層とニッケル層からなる薄膜の平面コイルを形成するもので、薄膜コイルを低抵抗で高密度に実装できる特徴があり、マイクロ磁気デバイスの小型化・薄型化に有効である。また、可動板5の平面コイル7で囲まれる上面中央部には、反射鏡としての全反射ミラー8がアルミニウム蒸着により形成されている。更に、シリコン基板2のトーションバー6の側方上面には、平面コイル7とトーションバー6の部分を介して電氣的に接続する一対の電極端子9、9が設けられており、この電極端子9、9は、シリコン基板2上に電鍍コイル法により平面コイル7と同時に形成される。

【0020】上側及び下側ガラス基板3、4の図中左右側には、前記トーションバー6の軸方向と平行な可動板5の対辺の平面コイル7部分に磁界を作用させる互いに対をなす円形状の永久磁石10A、10Bと11A、11Bが設けられている。上下の互いに対をなす各3個ずつの永久磁石10A、10Bは、上下の極性が同じとなるよう、例えば図2に示すように、下側がN極、上側がS極となるよう設けられる。また、他方の各3個ずつの永久磁石11A、11Bも、上下の極性が同じとなるよう、例えば図2に示すように、下側がS極、上側がN極となるよう設けられている。そして、上側ガラス基板3側の永久磁石10Aと11A及び下側ガラス基板4側の永久磁石10Bと11Bは、図2からも判るように、互いに上下の極性が反対となるように設けられる。

【0021】また、前述したように、下側ガラス基板4の下面には、平面コイル7と電磁結合可能に配置され各端部がそれぞれ対をなす電極端子13、14に電氣的に接続された一対の検出コイル12A、12Bがパターンニングされて設けられている（尚、図1では、模式的に1本の破線で示したが複数巻回してある）。検出コイル12A、12Bは、トーションバー6に対して対称位置に配置されて可動板5の変位角を検出するもので、平面コイル7に駆動電流に重畳して流す検出電流に基づく平面コイル7と検出コイル12A、12Bとの相互インダクタンスが、可動板5の角度変位により一方が接近して増加し他方が離間して減少するよう変化するので、例えば相互インダクタン

スに基づいて出力される電圧信号の変化を差動で検出することにより可動板5の変位角が検出できる。

【0022】次に、第1実施例の動作について説明する。例えば、一方の電極端子9を＋極、他方の電極端子9を一極として平面コイル7に電流を流す。可動板5の両側では、永久磁石10Aと10B、永久磁石11Aと11Bによって、図3の矢印で示すような可動板5の平面に沿って平面コイル7を横切るような方向に磁界が形成されており、この磁界中の平面コイル7に電流が流れると、平面コイル7の電流密度と磁束密度に応じて平面コイル7、言い換えれば可動板5の両端に、電流・磁束密度・力のフレミングの左手の法則に従った方向（図3の矢印で示す）に磁気力Fが作用し、この力はローレンツ力か

$$\phi = (M_x / G I_p) = (F' L / 8.5 \times 10^9 r^4) \times l_1 \cdots (3)$$

ここで、 M_x は振りモーメント、 G は横弾性係数、 I_p は極断面二次モーメントである。また、 L 、 l_1 、 r は、それぞれ、トーションバーの中心軸から力点までの距離、トーションバーの長さ、トーションバーの半径であり、図3に示してある。

【0025】そして、前記磁気力Fとばね反力F' が釣り合う位置まで可動板5が回転する。従って、(3)式のF' に(2)式のFを代入することにより、可動板5の変位角 ϕ は平面コイル7に流れる電流*i*に比例することが判る。従って、平面コイル7に流す電流を制御することにより、可動板5の変位角 ϕ を制御することができるので、例えば、トーションバー6の軸に対して垂直な面内において全反射ミラー8に入射するレーザー光の反射方向を自由に制御でき、全反射ミラー8を反復動作させて連続的にその変位角を変化させれば、レーザー光のスキヤニングができる。

【0026】この全反射ミラー8の変位角 ϕ を制御する際に、平面コイル7に、駆動電流に重畳して駆動電流周波数（ミラー8の駆動周波数に関連する）に比べて少なくとも100倍以上の周波数で変位角検出用の検出電流を流す。すると、この検出電流に基づいて、平面コイル7と下側ガラス基板4に設けた検出コイル12A、12Bとの間の相互インダクタンスによる誘導電圧がそれぞれの検出コイル12A、12Bに発生する。検出コイル12A、12Bに発生する各誘導電圧は、可動板5、言い換えれば、全反射ミラー8が水平位置にある時には、検出コイル12A、12Bと対応する平面コイル7との距離が等しいことから等しくなりその差は零である。可動板5が前述の駆動力でトーションバー6を支軸として回転すると、一方の検出コイル12A（又は12B）では接近して相互インダクタンスの増加により誘導電圧は増大し、他方の検出コイル12B（又は12A）では離間して相互インダクタンスの減少により誘導電圧は低下する。従って、検出コイル12A、12Bに発生する誘導電圧は全反射ミラー8の変位に応じて変化し、この誘導電圧を検出することで、全反射ミラー8の変位角 ϕ を検出することができる。

ら求められる。

【0023】この磁気力Fは、平面コイル7に流れる電流密度を*i*、上下の永久磁石による磁束密度をBとすると、下記の(1)式で求められる。

$$F = i \times B \cdots (1)$$

実際には、平面コイル7の巻数*n*と、磁気力Fが働くコイル長*w*（図3中に示す）により異なり、下記の(2)式のようになる。

$$F = n w (i \times B) \cdots (2)$$

一方、可動板5が回転することによりトーションバー6が捩じられ、これによって発生するトーションバー6のばね反力F' と可動板5の変位角 ϕ の関係は、下記の(3)式のようになる。

【0027】そして、例えば、図4に示すように、検出コイル12A、12Bの他に2つの抵抗を設けて構成したブリッジ回路に電源を接続し、検出コイル12Aと検出コイル12Bとの中点と2つの抵抗の中点との電圧を入力とする差動増幅器を設けて構成した回路を用い、前記両中点の電圧差に応じた差動増幅器の出力を、可動板の駆動系にフィードバックし、駆動電流を制御するようにすれば、全反射ミラー8の変位角 ϕ を精度良く制御することが可能である。

【0028】ここで、例えば可動板の大きさを6mm×6mm、検出コイルエリアを5mm×5mm、可動板と検出コイル間の距離を250μmとし、検出コイルの巻数が10ターンの時の一方の検出コイルの相互インダクタンスを、相互インダクタンスのノイマンの公式を用いて計算した結果を図5に示す。尚、図5は、可動板が水平の時の変位角を0度とし、相反する方向にそれぞれ3度づつ変位させた時の結果である。

【0029】図5から、0度では0.222 μH、-3度で0.202 μH、+3度で0.247 μHであり、±3度での相互インダクタンスの差は0.045 μHである。従って、ミラーの最小分解能を0.1度とすると0.75nHを検出する必要があり、相互インダクタンスの検出値は極めて小さい値となる。しかし、例えば検出コイルの巻数を20ターンとすれば、約4倍の3nHが検出できればよい。このことから、検出コイルの巻数を適当に設定すれば、十分に精度良くミラーの変位角の検出が可能となる。

【0030】次に、本発明のプレーナー型ガルバノミラーの特性について説明する。まず、永久磁石による磁束密度分布について説明する。図6は、第1実施例に使用した円柱状の永久磁石の磁束密度分布計算モデルを示し、永久磁石のN極とS極それぞれの表面を微小領域dyに分割し、求める点の磁束を計算した。

【0031】N極表面で形成される磁束密度を*B_n*、S極表面で形成される磁束密度を*B_s*とすると、これらは円柱状の永久磁石による磁束密度分布の計算式から数1、数2の各(4)、(5)式によって求めることがで

き、任意の点における磁束密度Bは、 B_n と B_s を合成したものになり、(6) 式で示される。

【0032】

【数1】

$$B_n = \frac{Br}{2\pi} \int_{-d/2}^{d/2} \frac{z[(d/2)^2 - y^2]^{1/2} dy}{[(y-y_0)^2 + z^2][(d/2)^2 + z^2 + y_0^2 - 2yy_0]^{1/2}} \dots (4)$$

【0033】

【数2】

$$B_s = \frac{Br}{2\pi} \int_{-d/2}^{d/2} \frac{(z+l)[(d/2)^2 - y^2]^{1/2} dy}{[(y-y_0)^2 + (z+l)^2][(d/2)^2 + (z+l)^2 + y_0^2 - 2yy_0]^{1/2}} \dots (5)$$

【0034】 $B = B_n + B_s$... (6)

ここで、数1、数2の各式において、 Br は永久磁石の残留磁束密度、 x 、 y 、 z は永久磁石の周りの空間の任意の点を表す座標、 l は永久磁石のN極面とS極面との距離、 d は各極面の半径である。例えば、半径1mm、高さ1mm、残留磁束密度0.85TのSm-Co永久磁石DIANET DM-18(商品名、セイコー電子部品製)を用いて、図7に示すように配置した永久磁石の表面に垂直な面aの磁束密度分布を計算した結果を図8に示す。図7のように配置した場合には、磁石間の空間は、略0.3 T以上の磁束密度となっている。

【0035】次に、可動板の変位量について説明する。例えば、可動板に形成する平面コイルの幅を100μm、巻数を14、可動板の厚さを20μmとし、トーションバーの半径を25μm、長さを1mm、可動板の幅を4mm、長さを5mmとして、(2) 式と(3) 式から求めた。尚、磁束密度は、前述の磁束密度分布計算で得られた0.3 Tを使用した。

【0036】その結果、図9の(A) 及び(B) 図から電流1.5 mAで2度の変位角が得られることがわかる。尚、(C) は電流と発生する熱量Qとの関係を示すもので、この時の単位面積当たりの発生熱量は13μワット/cm² となった。次に、発熱量と放熱の関係について説明する。発熱量はコイルの抵抗で発生するジュール熱であり、従って、単位時間当たりに発生する熱量Qは下記の(7) 式によって表される。

【0037】 $Q = i^2 R$... (7)

ここで、 i はコイルに流れる電流、 R はコイルの抵抗である。発熱量対流による放熱量 Q_c は下記の(8) 式で表される。

$Q_c = h S \Delta T$... (8)

ここで、 h は熱伝達係数(空気は $5 \times 10^{-3} \sim 5 \times 10^{-2}$ [ワット/cm² °C])、 S は素子の表面積、 ΔT は素

$$\Delta Y = (1/2) (4 l_1^3 f / E b t^3) \dots (11)$$

ここで、 E はシリコンのヤング率である。また、可動板の重さ f は下記の(12) 式で表される。

$f = W L_1 t \rho g$... (12)

ここで、 ρ は可動板の体積密度、 g は重力加速度であ

り。子表面と空気との温度差である。

【0038】発熱部となる可動板の面積を20mm² (4×5) とすると、(8) 式は、

$Q_c = 1.0 \Delta T$ [mワット/°C] ... (8)'

となり、数十μワット/cm² 程度の発熱量ならば素子の温度上昇の問題は無視できることがわかる。尚、参考まで、輻射による放熱量 Q_r は下記の(9) 式で表される。

【0039】 $Q_r = \epsilon S \sigma T^4$... (9)

ここで、 ϵ は輻射率(黒体は $\epsilon = 1$ 一般に $\epsilon < 1$)、 S は素子の表面積、 σ はステファンボルツマン定数($\pi^2 k^4 / 60 h^3 c^2$)、 T は素子の表面温度である。また、トーションバーからの伝導による放熱量 Q_a は下記の(10) 式で表される。

【0040】

$Q_a = 2 \lambda (S / l_1) \Delta T$... (10)

ここで、 λ は熱伝導率(シリコンは84ワット/mK)、 S はトーションバーの断面積、 l_1 はトーションバーの長さ、 ΔT はトーションバーの両端の温度差である。トーションバーの半径を25μm、長さを1mmとすると(10) 式は、

$Q_a = 0.1 \Delta T$ [mワット/°C] ... (10)'

となる。

【0041】次にトーションバーの可動板自重による撓みと、電磁力による可動板の撓みについて説明する。図10にこれらの計算モデルを示す。トーションバーの長さを l_1 、トーションバーの幅を b 、可動板の重さを f 、可動板の厚さを t 、可動板の幅を W 、可動板の長さを L_1 とすると、トーションバーの撓み量 ΔY は、片持ち梁の撓み量の計算方法を用いて、下記の(11) 式のようにになる。

【0042】

る。

【0043】また、可動板の撓み量 ΔX は、同じく片持ち梁の撓み量の計算方法を用いて、下記の(13) 式のようにになる。

$$\Delta X = 4 (L_1/2)^3 F / E W t^3 \quad \dots (13)$$

ここで、Fは可動板の端に作用する磁気力である。そして、前記磁気力Fは(2)式のコイル長wを可動板の長さWと見做して求めた。

【0044】これら、トーシヨンバーの撓み量と可動板

の撓み量の計算結果を表1に示す。尚、可動板の撓み量は、磁気力Fを30μNとして計算したものである。

【0045】

【表1】

【表1】

トーシヨンバーと可動板の撓み量の計算結果

| | | | |
|----------------|----------|----------|----------|
| W | 6 mm | 6 mm | 6 mm |
| L ₁ | 13mm | 13mm | 13mm |
| t | 50 μm | 50 μm | 100 μm |
| b | 50 μm | 50 μm | 50 μm |
| l ₁ | 0.5mm | 1.0mm | 1.0mm |
| f | 89 μN | 89 μN | 178 μN |
| ΔY | 0.022 μm | 0.178 μm | 0.356 μm |
| ΔX | 0.125 μm | 0.125 μm | 0.016 μm |

【0046】上記の表1から明らかなように、幅50μm、長さ1.0mmのトーシヨンバーの場合、幅6mm、長さ13mm、厚さ50μmの可動板による撓み量ΔYは、0.178μmであり、可動板の厚さを倍の100μmとしても、撓み量ΔYは、0.356μmである。また、幅6mm、長さ13mm、厚さ50μmの可動板の場合、磁気力による撓み量ΔXは、0.125μmであり、可動板

両端の変位量を200μm程度とすれば、プレーナー型ガルバノミラーの特性には何ら影響はない。

【0047】次に、変位角を検出するために平面コイルに流す変位角検出電流の全反射ミラーの変位に与える影響について説明する。モーメントM(t) = M cos ωt が作用し、減衰系がある場合のねじり振動の方程式は以下になる。

$$(d^2 \phi / dt^2) + 2 \gamma (d \phi / dt) + \omega_0^2 \phi = (M / J) \cos \omega t \quad \dots (14)$$

ただし、2γ = c / Jである。ここで、φ：変位角、J：慣性モーメント、c：減衰係数、ω₀：固有振動数である。

$$\omega_0 = (G \cdot I_p / J \cdot l_1)^{1/2} \quad \dots (17)$$

となる。一方、慣性モーメントJ、極断面二次モーメントI_pは次式で表される。

$$J = [M (t^2 + L_1^2)] / 12 \quad \dots (18)$$

$$I_p = \pi r^4 / 32 \quad \dots (19)$$

Mは可動板の質量、tは可動板の厚さ、L₁は可動板の長さ、rはトーシヨンバーの半径である。

【0050】従って、(17)～(19)式から前記固有振動数ω₀が算出できる。(14)式から、振幅、即ち可動板の変位角の大きさをAとすると、

【0048】尚、前記固有振動数ω₀は、

$$\omega_0 = (k / J)^{1/2} \quad \dots (15)$$

と表され、ここで、kはバネ定数であり、以下のように表される。

$$k = (G \cdot I_p) / l_1 \quad \dots (16)$$

G、I_pは、前述した横弾性係数、極断面二次モーメントであり、l₁はトーシヨンバーの長さである。

【0049】(15)式と(16)式から、

$$A = (M / J) [1 / \{ (\omega_0^2 - \omega^2)^2 + 4 \gamma^2 \omega^2 \}^{1/2}] \quad \dots (20)$$

が求められる。ここで、検出に用いる周波数ω_sをnω₀、ミラーを駆動する周波数ω_dを(1/n)ω₀ (n：(検出電流周波数/駆動電流周波数) > 1) とすると、それぞれの変位角の大きさA_s、A_dの比をとると次の

数3のようになる。

【0051】

【数3】

$$\frac{A_s}{A_d} = \frac{[(1 - (1 - (1/n^2))^2 \omega_0^2 + 4 (1/n^2) \gamma^2 \omega^2)^{1/2}]}{[(n^2 - 1)^2 \omega_0^2 + 4 n^2 \gamma^2 \omega^2]^{1/2}} \quad \dots (21)$$

【0052】この結果から、変位角検出に用いる周波数の電流によるミラーに与える影響は減衰にかかわらず駆動周波数電流による変位の1/n²となることがわかる。従って、例えば検出電流周波数を駆動電流周波数の100倍以上、即ちn = 100以上とすれば、A_s / A_dは1/10000以下となり、平面コイルに、駆動電

流に重畳させて検出電流を流したとしても、ミラーの駆動に殆ど影響を及ぼすことなくミラーの変位検出ができる。

【0053】更に、駆動に固有振動数を使用した場合について検討してみる。検出に用いる周波数ω_sをn²ω₀、ミラーを駆動する周波数ω_dをω₀とすると、それ

ぞれの変位角の大きさ A_s 、 A_d の比をとると次の数 4
のようになる。

【0054】
【数4】

$$\frac{A_s}{A_d} = \frac{(4\gamma^2 \omega^2)^{1/2}}{((n^4 - 1)^2 \omega_0^2 + 4n^4 \gamma^2 \omega^2)^{1/2}} \\ = \{(4\gamma^2) / ((n^4 - 1)^2 + 4n^4 \gamma^2)\}^{1/2} \quad \dots (22)$$

【0055】ここで、数4の式の平方根の中をYとおい
て、Yと γ との関係を求めると、数5のようになる。

【0056】
【数5】

$$Y = \frac{1}{n^4} - \frac{(n^4 - 1)^2 / n^4}{(n^4 - 1)^2 + 4n^4 \gamma^2} \quad \dots (23)$$

【0057】かかる数5におけるYと γ との関係を図示
すると図11のようになる。図11から $\gamma > 0$ の範囲で
は、0から $1/n^4$ に単調増加していることがわかる。
これは、変位角の大きさ A_s 、 A_d の比 ($= A_s / A_d$
) が $1/n^2$ より小さいことを示している。このよう
に、駆動周波数を固有振動数とすると、以下の2つの特
徴があることがわかる。1つは駆動周波数が固有振動数
より小さい場合と比較して変位角検出周波数電流がミラ
ーに与える影響は小さいと言える。更に、減衰がない場
合には変位角検出周波数電流がミラーに与える影響は零
となることがわかる。

【0058】以上説明したように、かかるプレーナ型
ガルバノミラー1では、コイルの発熱による影響も無視
でき、また、可動板5の揺動特性も何ら問題はなく、従
来と同様の機能を発揮できることが判る。そして、半導
体素子の製造プロセスを利用することによって、超小型
で薄型のガルバノミラーとすることができ、このた
め、ガルバノミラーによるレーザ光のスキニングシス
テムの小型化を図ることができ、延いては、このスキ
ニングシステムを利用するレーザ応用機器の小型化が図
れる。また、半導体素子の製造プロセスで製造すること
で、大量生産が可能となる。そして、平面コイル7に駆
動電流に重畳して所定周波数の検出電流を流すと共に、
下側ガラス基板4に平面コイル7と電磁結合させて一対
の検出コイル12A、12Bを配置し、可動板5の変位に応
じた平面コイル7と検出コイル12A、12Bとの間の相互
インダクタンス変化を検出することで、可動板5、即
ち、全反射ミラー8の変位角を検出するようにしたの
で、ミラーの変位角の検出を精度よく検出でき、変位角
の制御精度を向上させることが可能である。また、可動
板5側に新たな構成を付加することなく、下側ガラス基
板4側に検出コイル12A、12Bを設けるだけでよく可動
板5側の構成を変更する必要はないので、ミラーの変位
角検出機能を容易に付加することができ、製造が容易で
ある。

【0059】次に上記第1実施例のガルバノミラーの製
造工程を、図12～図14を参照しながら説明する。厚
さ300 μm のシリコン基板101の上下面を熱酸化して酸
化膜(1 μm) 102を形成する(a工程)。次に、裏面

側にホトリソグラフにより貫通穴のパターンを形成し、
貫通穴部分の酸化膜をエッチング除去し(b工程)、更
に、可動板形成部の酸化膜を厚さ0.5 μm まで除去する
(工程c)。

【0060】次に、表面側にワックス層103を設けた
後、貫通穴部分に異方性エッチングを100 μm 行う(工
程d)。裏面側の可動板部分の薄い酸化膜を除去し(工
程e)、貫通穴と可動板部分に異方性エッチングを100
 μm 行う(工程f)。表面側のワックス層103を除去
し、表面側の酸化膜102上に、従来公知の電鍍コイル法
によって平面コイル、電極端子部(図示せず)を形成
し、また、アルミニウムの蒸着によって全反射ミラーを
形成する(工程g)。電鍍コイル法は、シリコン基板10
1の表面側にニッケルのスパッタを行ってニッケル層を
形成し、銅電解めっきを行って銅層を形成する。次にポ
ジ型のレジストで平面コイル及び電極端子に相当する部
分をマスクし、銅エッチング、ニッケルエッチングを順
次行い、エッチング後、レジストを除去し、更に、銅電
解めっきを行ってニッケル層の全周を銅で覆い平面コ
イル及び電極端子に相当する銅層を形成する。次に、銅層
を除いた部分にネガ型のメッキレジストを塗布した後、
銅電解めっきを行って銅層を厚くして、平面コイル及び
電極端子を形成する。そして、平面コイル部分を例えば
感光性ポリイミド等の絶縁層で覆う。平面コイルを2層
にする場合は、再度ニッケルのスパッタ工程から絶縁層
形成までの工程を繰り返せばよい。

【0061】次に、表面側にワックス層103'を設けた
後、貫通穴及び可動板部分に異方性エッチングを100 μ
m行い、貫通穴部分を貫通させ、可動板部分を除いてワ
ックス層103'を除去する。この際に、上下の酸化膜10
2も除去する。これにより、可動板5とトーションパー
(図示せず)が形成され、図1のシリコン基板2が形成
される(工程h、i)。

【0062】次に、可動板部分のワックス層を除去した
後、シリコン基板2の上下面に上側ガラス基板3と検出
コイル12A、12B(図示せず)を備えた下側ガラス基板
4とをそれぞれ陽極接合によって結合する(工程j、
k)。尚、この陽極接合する以前に、下側ガラス基板4
の接合面とは反対側の所定位置に、検出コイル12A、12

Bを予め形成しておく。この検出コイルは、下側ガラス基板4の形成面に全体にニッケル或いは銅等の導電性の良好な金属をスパッタして金属層を形成し、検出コイルに相当する部分をマスクしてその他の金属をエッチングして除去することで形成する。

【0063】次に、上下のガラス基板3、4の所定位置に永久磁石10A、10Bと11A、11Bを取付ける(工程1)。このように、半導体の製造プロセスを利用して製造することで、相互インダクタンスを利用したミラーの変位検出機能を備えたプレーナー型ガルバノミラーの大量生産が可能となる。

【0064】次に、本発明に係るプレーナー型ガルバノミラーの第2実施例を図15に示し説明する。前述した第1実施例のガルバノミラーでは、レーザ光等を1次元でスキャンするものであるが、この第2実施例は、レーザ光等を1次元でスキャンする場合に比べてそのスキャン領域を拡大するため、2次元でスキャンできるようにトーションバーを互いに直交させて2つ設けた2軸のガルバノミラーの例である。尚、第1実施例と同一の要素には同一符号を付してある。

【0065】図15において、第2実施例のガルバノミラー21は、半導体基板であるシリコン基板2の上下面に、それぞれホウケイ酸ガラス等からなる上側及び下側絶縁基板としての上側及び下側ガラス基板3、4を、矢印で示すように重ねて陽極接合した3層構造とする。上側及び下側ガラス基板3、4は、図に示すように、それぞれ中央部に例えば超音波加工によって形成した方形状の溝3A、4Aを設けた構造であり、シリコン基板2に陽極接合する場合、上側ガラス基板3では、溝3Aを下側にしてシリコン基板2側に位置するようにして接合し、下側ガラス基板4では、溝4Aを上側にして同じくシリコン基板2側に位置するようにして接合する。これにより、後述する全反射ミラー8を設ける可動板5の揺動空間を確保すると共に密閉する構成としている。

【0066】前記シリコン基板2には、枠状に形成された外側可動板5Aと、該外側可動板5Aの内側に軸支される内側可動板5Bとからなる平板状の可動板5が設けられている。前記外側可動板5Aは、第1のトーションバー6A、6Aによってシリコン基板2に軸支され、前記内側可動板5Bは、前記第1のトーションバー6A、6Aとは軸方向が直交する第2のトーションバー6B、6Bで外側可動板5Aの内側に軸支されている。可動板5と第1及び第2の各トーションバー6A、6Bは、シリコン基板2に異方性エッチングにより一体形成されており、シリコン基板と同一材料からなっている。

【0067】また、外側可動板5Aの上面には、シリコン基板2上面に形成した一对の外側電極端子9A、9Aに一方の第1のトーションバー6Aの部分を介して両端がそれぞれ電気的に接続する平面コイル7A(図では模式的に1本線で示すが可動板上では複数の巻数となっ

ている)が絶縁層で被覆されて設けられている。また、内側可動板5Bの上面には、シリコン基板2に形成された一对の内側電極端子9B、9Bに、一方の第2のトーションバー6Bから外側可動板5A部分を通り、第1のトーションバー6Aの他方側を介してそれぞれ電気的に接続する平面コイル7B(図では模式的に1本線で示すが外側可動板と同様に可動板上では複数の巻数となっている)が絶縁層で被覆されて設けられている。これら平面コイル7A、7Bは第1実施例と同様に、上述した従来公知の電解めっきによる電鍍コイル法によって形成してある。尚、前記外側及び内側電極端子9A、9Bは、シリコン基板2上に電鍍コイル法により平面コイル7A、7Bと同時に形成される。平面コイル7Bで囲まれた内側可動板5Bの中央部には、アルミニウム蒸着等による反射鏡としての全反射ミラー8が形成されている。

【0068】上側及び下側ガラス基板3、4には、2個ずつ対となったそれぞれ8個ずつ円板状の永久磁石10A~13A、10B~13Bが、図示のように配置されている。上側ガラス基板3の互いに向かい合う永久磁石10A、11Aは、下側ガラス基板4の永久磁石10B、11Bとで外側可動板5Aの平面コイル7Aに磁界を作用して平面コイル7Aに流す駆動電流との相互作用によって外側可動板5Aを回動駆動させるためのものであり、また、上側ガラス基板3の互いに向かい合う永久磁石12Aと13Aは、下側ガラス基板4の永久磁石12B、13Bとで内側可動板5Bの平面コイル7Bに磁界を作用して平面コイル7Bに流す駆動電流との相互作用によって内側可動板5Bを回動駆動させるためのものである。そして、互いに向き合った永久磁石10Aと11Aは上下の極性が互いに反対、例えば永久磁石10Aの上面がS極の時は永久磁石11Aの上面はN極となるように設けられ、しかも、その磁束が可動板5の平面コイル部分に対して平行に横切るよう配置されている。その他の互いに向き合っている永久磁石12Aと13A、永久磁石10Bと11B及び永久磁石12Bと13Bも同様である。更に、上下方向で対応する永久磁石10Aと10Bとの間の関係は、上下の極性は同じ、例えば永久磁石10Aの上面がS極の時は永久磁石10Bの上面もS極となるように設ける。その他の上下で対応している永久磁石11Aと11B、永久磁石12Aと12B及び永久磁石13Aと13Bも同様であり、これにより、可動板5の両端部で互いに相反する方向に磁気力が作用するようになる。

【0069】そして、下側ガラス基板4の下面には、前述した平面コイル7A、7Bとそれぞれ電磁結合可能に配置された検出コイル15A、15Bと16A、16Bがパターンニングされて設けられている。検出コイル15A、15Bは、第1のトーションバー6Aに対して対称位置に設けられ、検出コイル16A、16Bは第2のトーションバー6Bに対して対称位置に設けられそれぞれ対をなしている。そして、一对の検出コイル15A、15Bは、外側可動板5Aの変位角を検出するもので、平面コイル7Aに駆

動電流に重畳して流す検出電流に基づく平面コイル7Aと検出コイル15A、15Bとの相互インダクタンスが、外側可動板5Aの角度変位により変化し、この変化に応じた電気信号を出力する。この電気信号によって外側可動板5Aの変位角が検出できる。一対の検出コイル16A、16Bは同様に内側可動板5Bの変位角を検出するものである。

【0070】次に動作を説明する。外側可動板5Aの平面コイル7Aに電流を流せば、第1のトーションバー6A、6Aを支点として外側可動板5Aが電流方向に応じて回転し、この際に内側可動板5Bも外側可動板5Aと一緒に回転する。この場合、全反射ミラー8は、第1実施例と同様の動きとなる。一方、内側可動板5Bの平面コイル7Bに電流を流せば、外側可動板5Aの回転方向と直角方向に、外側可動板5Aに対して内側可動板5Bが第2のトーションバー6B、6Bを支点として回転する。

【0071】従って、例えば、平面コイル7Aの駆動電流を制御して、外側可動板5Aを1周期回転操作した後、平面コイル7Bの駆動電流を制御し内側可動板5Bを一定角度変位させるようにし、この操作を周期的に繰り返せば、全反射ミラー8に入射し反射するレーザ光の偏光走査を2次元的に行える。尚、第2実施例のように、全反射ミラー8の上方にガラスが存在する場合には、レーザ光の通過するガラス面に反射防止膜等を被覆しておくとも良い。

【0072】一方、平面コイル7A及び平面コイル7Bに流す各駆動電流に重畳させて、検出電流を流せば、検出コイル15A、15Bと平面コイル7A間及び検出コイル16A、16Bと平面コイル7B間の相互インダクタンスにより第1実施例と同様の原理で、外側可動板5Aの変位は例えば図4と同様の回路を介して検出コイル15A、15Bの差動出力によって検出することができ、内側可動板5Bの変位は検出コイル16A、16Bの差動出力によって検出することができ、この差動出力を外側可動板5A及び内側可動板5Bの各駆動系にフィードバックさせれば、外側可動板5A及び内側可動板5Bの変位を精度よく制御することが可能となる。尚、言うまでもないが、本実施例の2軸のガルバノミラーの場合は、図4と同様の回路を、外側可動板変位検出用と内側可動板変位検出用として2つ設けるものである。

【0073】かかる第2実施例の構成のガルバノミラー21によれば、第1実施例と同様の効果に加えて、全反射ミラー8でレーザ光の偏光走査が2次元的に行え、レーザ光のスキヤニングの自由度が増大し、スキヤニングの領域を第1実施例の1軸の場合に比べて増大させることができる。また、可動板5の揺動空間を、上下のガラス基板3、4と周囲のシリコン基板2とによって密閉するので、この密閉空間を真空状態とすることにより、可動板5の回転動作に対する空気抵抗がなくなり、可動板5

の応答性が向上するという効果を有する。

【0074】更に、平面コイル7に流す駆動電流を大きくして可動板5の変位量を大きく設定する場合には、密閉した可動板揺動空間内を真空とせず、ヘリウム、アルゴン等の不活性ガスを封入するのが望ましく、特に熱伝導性の良いヘリウムが好ましい。これは、平面コイル7に流す電流量を大きくすると平面コイル7からの発熱量が多くなり、可動板周囲が真空状態では可動板からの放熱が悪くなるので、不活性ガスを封入することによって可動板5からの放熱性を真空状態に比べて高め熱影響を低減させることができる。尚、不活性ガスを封入することで、可動板5の応答性に関しては、真空状態に比べて多少低下することになる。

【0075】尚、前述の第1実施例の上下のガラス基板を、この第2実施例と同様の溝を設ける構造として可動板部分を密閉構造としてもよいことは言うまでもない。次に、上記第2実施例のガルバノミラーの製造工程について図16～図20を参照して説明する。厚さが例えば200 μm 程度のシリコン基板201の上下面を熱酸化して酸化膜(0.5 μm)202を形成し、表面側にホトリソグラフにより所定の貫通穴パターンを形成し、貫通穴部分の酸化膜をエッチング除去する(a工程)。

【0076】次に、表面を熱酸化して貫通穴部分に薄い酸化膜(0.1 μm)202'を形成し、裏面側に、表面側と対応する位置にホトリソグラフにより貫通穴のパターンを形成する(b工程)。次に、裏面側の貫通穴部分に異方性エッチングを170 μm 行う(工程c)。次に、表面側にニッケルのスパッタを行ってニッケル層を形成し、次いで銅のスパッタを行い銅層を形成し、ポジ型のレジストで内側可動板の平面コイルと外側可動板の平面コイルとを互いに接触させずに交差させて電極端子に接続させるための交差部に相当する部分及び可動板5の側方のシリコン基板上の電極端子に相当する部分をマスクし、銅エッチング、ニッケルエッチングを順次行う。これにより、シリコン基板表面にニッケル層と銅層からなる前記交差部203及び電極端子部204を形成する(工程d)。

【0077】次に、交差部203の両端部及び電極端子部204の部分を除いてマスクし、感光性ポリイミド等の絶縁層205を形成する(工程e)。次に、電鍍コイル法によって外側可動板と内側可動板の平面コイルを形成する。即ち、絶縁層205上にニッケルのスパッタを行ってニッケル層を形成し、銅電解めっきを行って銅層を形成する。次にポジ型のレジストで平面コイル、電極端子やコイルと端子間の接続部分に相当する部分をマスクし、銅エッチング、ニッケルエッチングを順次行い、エッチング後、レジストを除去し、更に、銅電解めっきを行ってニッケル層の全周を銅で覆い外側と内側の各平面コイルに相当する銅層206、207を形成する。この工程によって、平面コイル部分の形成と共に工程dで形成した電

極端子部204 及び交差部204 を厚くする（工程 f）。

【0078】次に、工程 e と同様にして絶縁層205 を形成する（工程 g）。尚、本実施例では、各平面コイルを2層に形成するため、工程 g の絶縁層形成時には、内外両方の上下のコイルを接続するターミナル部分208，209 をマスクして絶縁層が形成されないようにしている。次に、工程 f と同様にして上層側の平面コイルに相当する銅層210，211 を形成し、更に、絶縁層205 を形成する。これにより、絶縁層によって絶縁被覆された平面コイル7A，7B が形成される（工程 h，i）。

【0079】次に、 SiO_2 をスパッタして酸化膜を形成し、裏面側から異方性エッチングを行って、シリコン基板201 を貫通させる。これにより、各トーションバー部分と内外可動板部分が形成される（工程 j，k）。次に、表面側の SiO_2 をエッチングして除去した後、全反射ミラー部分を除いてマスクし、アルミニウムの蒸着によって全反射ミラー8 を形成する（工程 l）。

【0080】以上により、可動板部分が形成される。一方、下側ガラス基板側に形成する検出コイルは、図20 のようにして形成される。まず、下側ガラス基板4 に、例えば超音波加工等によって、可動板の収納空間を確保するための方形状の溝4A を形成する（工程 a）。

【0081】次に、下側ガラス基板4 の平坦面側に、ニッケル或いは銅等の導電性の良好な金属をスパッタリングして金属層220 を形成する（工程 b）。次に、検出コイル及び電極端子を形成する部分をマスクし、その他の金属層部分をエッチングして除去する。これにより、検出コイルが所定位置に検出コイルが形成される。尚、上側ガラス基板3 の溝3A も、下側ガラス基板4 と同様に超音波加工によって形成する。

【0082】このようにして形成した上側ガラス基板3 と下側ガラス基板4 を、シリコン基板2 の上下面にそれぞれ陽極接合によって結合し、更に、上下のガラス基板3，4 の所定位置に各永久磁石10A～13A と10B～13B を取付ける。このように、半導体の製造プロセスを利用して製造することで、ミラーの変位検出機能を備えた2軸のプレーナー型ガルバノミラーの製造も容易であり、大量生産が可能となる。

【0083】次に、本発明に係るガルバノミラーの第3実施例について図21～図23に示し説明する。この第3実施例は、第2実施例と同様の2軸の例である。尚、第2実施例と同一要素には同一符号を付して説明を省略する。図21～23において、本実施例の2軸のガルバノミラー31は、前述した第2実施例と略同様の構成であるが、本実施例では、上下のガラス基板3，4 が、第2実施例のものとは異なり、溝3A，4A のない平板状になっている。そして、上側ガラス基板3 には、可動板5 上方部分に可動板5 の形状に応じて角状の開口部3a を設け、全反射ミラー上方の部分を開放状態としてレーザー光が直接全反射ミラー8 に入射できるようにしてある。

そして、上下のガラス基板3，4 が平板状としてあるため、中間のシリコン基板2 を上下に別のシリコン基板を積層して3層構造とし、中間層に可動板5 を形成することで可動板5 の回転スペースを確保するようにしてある。

【0084】また、図21 に破線で示すように、下側ガラス基板4 の下面に、外側可動板5A の変位検出用の検出コイル15A，15B 及び内側可動板5B の変位検出用の検出コイル16A，16B が、対応する平面コイル7A，7B と電磁結合可能な位置にバターニングされて設けられている。かかる構成の第3実施例のプレーナー型ガルバノミラーの動作は、第2実施例と同様であり、説明を省略する。また、製造工程としては、シリコン基板2 に可動板5 及びトーションバー6A，6B の部分を一体形成する工程までは、第2実施例で説明した図16～19 に示した工程と同様である。そして、第3実施例の場合では、その後、可動板に対応する位置に開口部を形成した上下シリコン基板を積層して3層構造とし、更に、上下のガラス基板3，4 を陽極接合によってシリコン基板2 の上下に結合し、上下のガラス基板3，4 の所定位置に永久磁石を取付けるようにする。

【0085】以上説明した第3実施例のガルバノミラーでは、第1実施例のガルバノミラーの効果に加えて、第2実施例と同様にレーザー光の偏光走査が2次元で行え、レーザー光のスキャン領域が増大できるという効果を有する。

【0086】

【発明の効果】以上説明したように本発明のガルバノミラーによれば、半導体基板に、可動板、この可動板を揺動可能に軸支するトーションバー、平面コイル及び反射鏡を形成し、半導体基板の上下の絶縁基板に永久磁石を設ける構成とすると共に、前記平面コイルと電磁結合可能に半導体基板に結合する下側絶縁基板側に検出コイルを設け、平面コイルに反射鏡駆動用電流に重畳して反射鏡変位検出用の検出電流を流すようにし、平面コイルと検出コイルの反射鏡変位に伴う相互インダクタンス変化を利用して反射鏡の変位角を検出する構成としたので、ガルバノミラーを半導体素子の製造技術を用いて形成でき、ガルバノミラーを極めて薄型化及び小型化でき、ガルバノミラーを用いた光のスキャンシステム小型化を図ることが可能となり、延いては、レーザー光応用機器の小型化を達成できるという効果に加え、このようなプレーナー型ガルバノミラーのミラー変位角を精度良く検出することができ、変位角の制御精度を向上できる。また、可動板側に新たな構成を付加することなく、下側ガラス基板側に検出コイルを設けるだけでよいので、可動板側の構成を変更する必要はなくミラーの変位角検出機能を容易に付加でき、従来の変位角検出機能を付与する場合に比べて製造が容易となる。

【0087】また、反射鏡の支軸を、互いに直交する2

軸構造とすれば、反射鏡による光の偏光走査を2次元で行え、光のスキャニング自由度を増大でき、スキャニング領域を増大できるという効果を奏する。また、可動板の揺動空間を密閉空間として真空封止する構成とすれば、可動板の動きに対する空気抵抗をなくすことができ、可動板の応答性を向上できるという効果を有する。また、可動板の変位量を大きくすべく平面コイルに大きな駆動電流を流す場合には、密閉空間内に不活性ガスを封入することで、平面コイルの発熱の影響を、真空状態に比べて抑制することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明に係るガルバノミラーの第1実施例を示す構成図

【図2】図1のA-A線矢視断面図

【図3】同上第1実施例のガルバノミラーの動作原理を説明する図

【図4】同上第1実施例の検出コイル出力に基づく変位検出回路の一例を示す回路図

【図5】相互インダクタンスと変位角との関係の計算結果の例を示す図

【図6】永久磁石による磁束密度分布の計算モデル図

【図7】計算した磁束密度分布位置を示す図

【図8】図7に示す位置の磁束密度分布の計算結果を示す図

【図9】可動板の変位量と電流量との計算結果を示すグラフ

【図10】トーションバー及び可動板の撓み量の計算モデル図

【図11】変位角検出電流のミラー変位に与える影響を

説明するための図

【図12】同上第1実施例の製造工程の説明図

【図13】図12に続く製造工程の説明図

【図14】図13に続く製造工程の説明図

【図15】本発明に係るガルバノミラーの第2実施例の構成を示す斜視図

【図16】同上第2実施例の製造工程の説明図

【図17】図16に続く製造工程の説明図

【図18】図17に続く製造工程の説明図

【図19】図18に続く製造工程の説明図

【図20】同上第2実施例の下側ガラス基板の製造工程の説明図

【図21】本発明に係るガルバノミラーの第3実施例の構成を示す平面図

【図22】図21のB-B線矢視断面図

【図23】図21のC-C線矢視断面図

【図24】光式変位角検出の例を示す図

【図25】静電容量式変位角検出の例を示す図

【符号の説明】

1, 21, 31, ガルバノミラー

2 シリコン基板

3 上側ガラス基板

4 下側ガラス基板

5 可動板

6 トーションバー

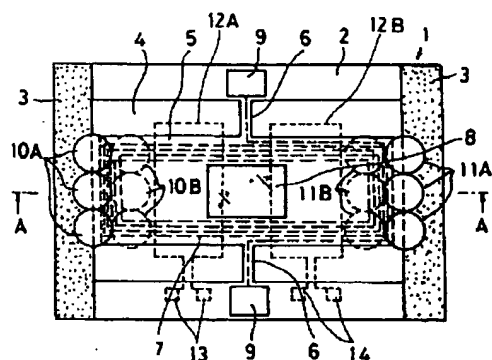
7 平面コイル

8 全反射ミラー

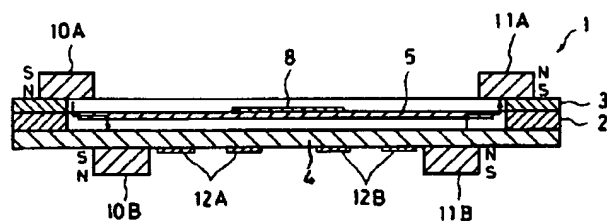
10A~13A, 10B~13B, 永久磁石

12A, 12B, 15A, 15B, 16A, 16B 検出コイル

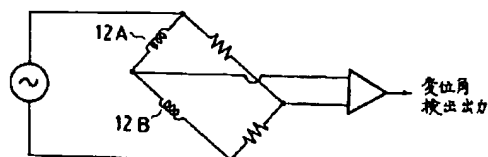
【図1】



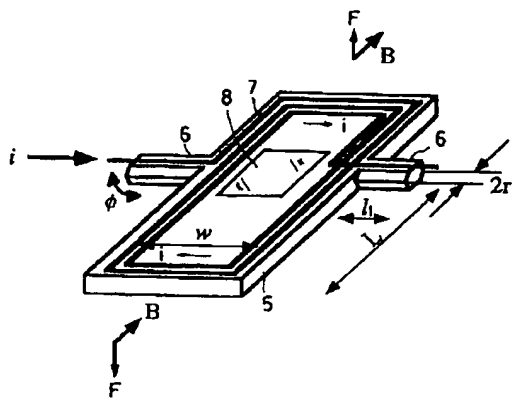
【図2】



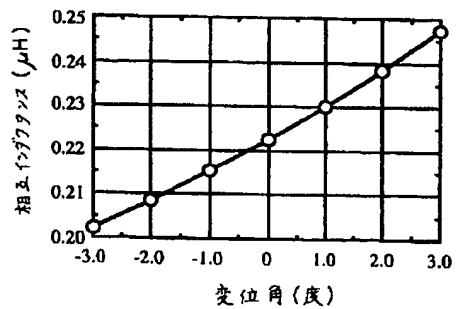
【図4】



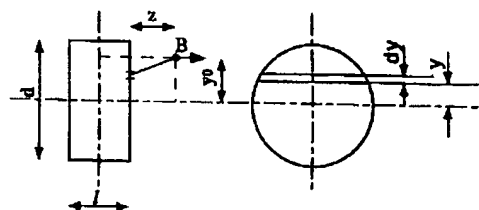
【图3】



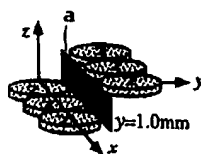
【图5】



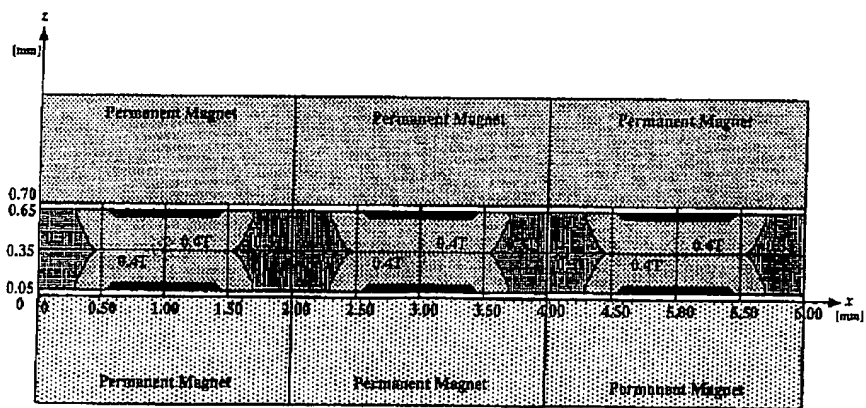
【图6】



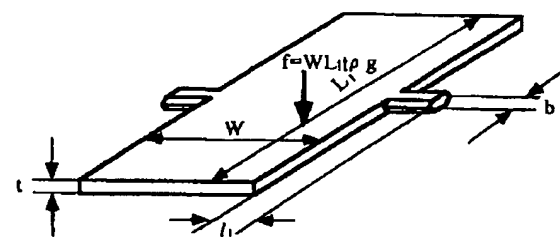
【图7】



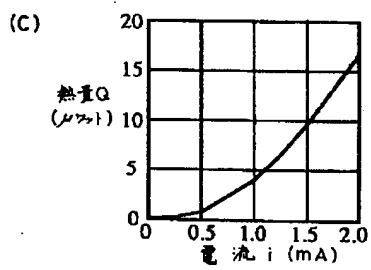
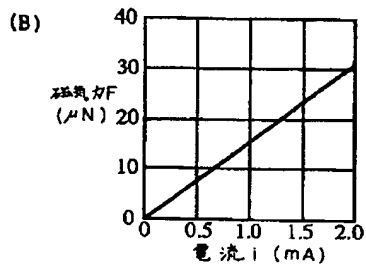
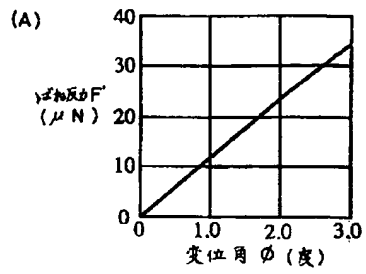
【图8】



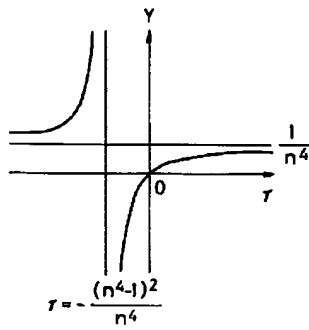
【图10】



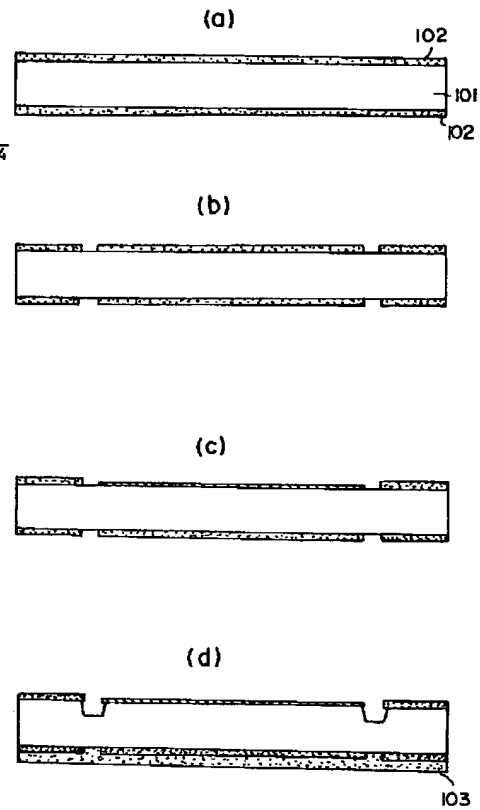
【図9】



【図11】

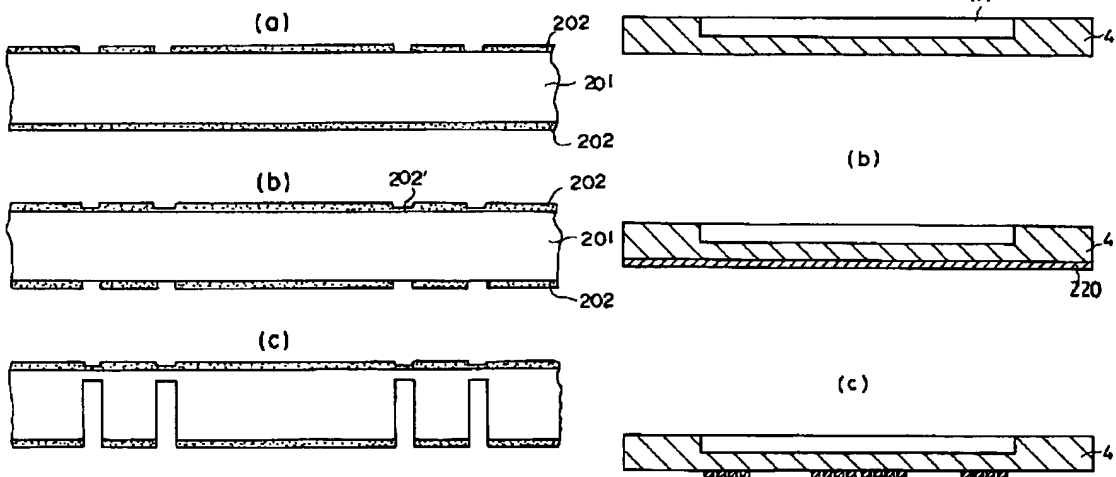


【図12】

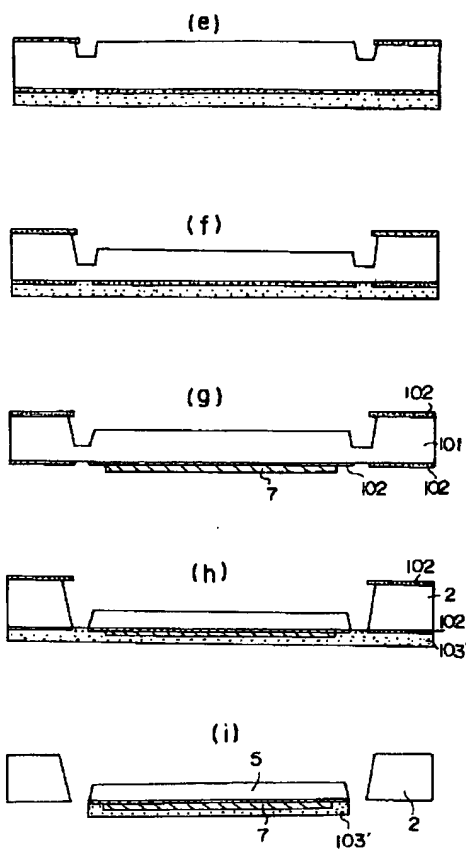


【図20】

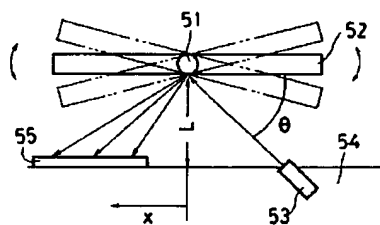
【図16】



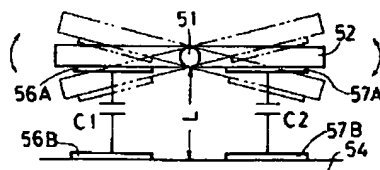
【図13】



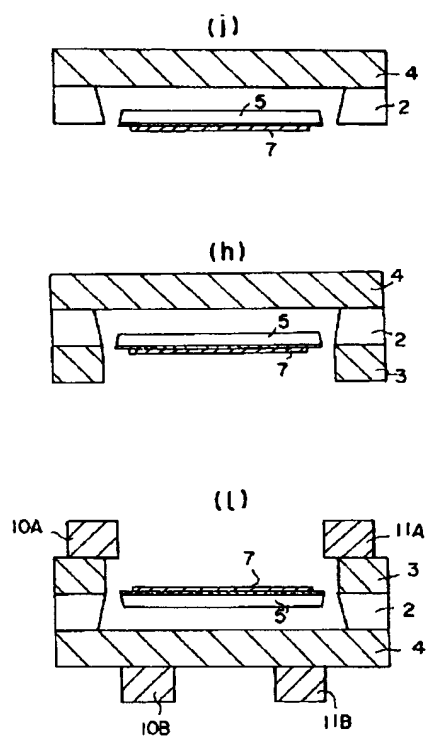
【図24】



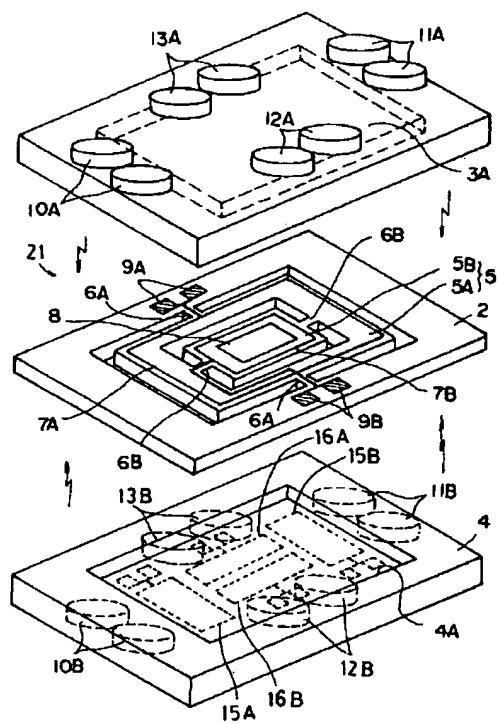
【図25】



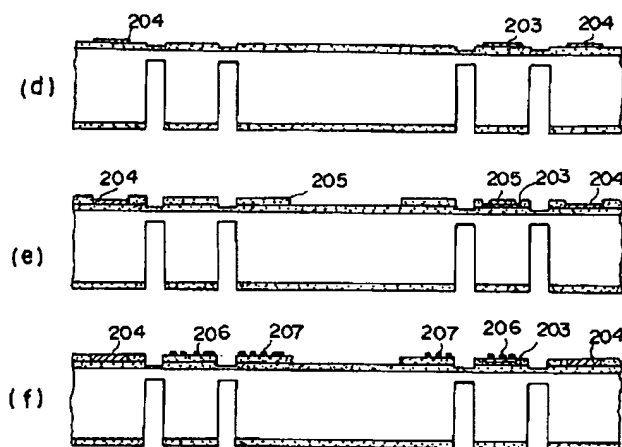
【図14】



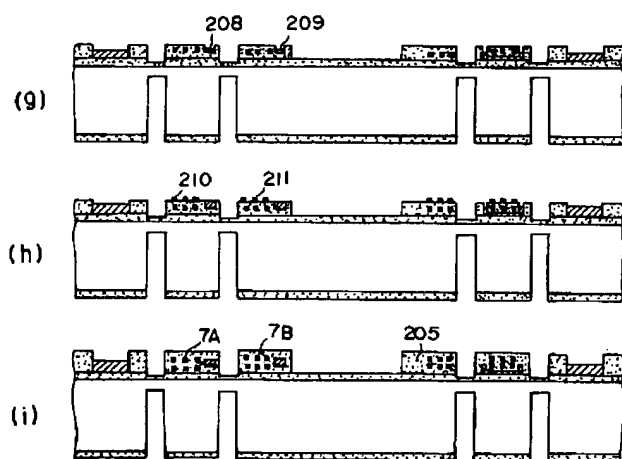
【図15】



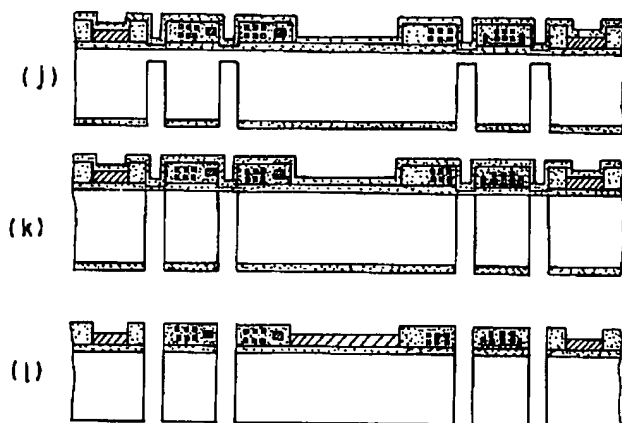
【图 17】



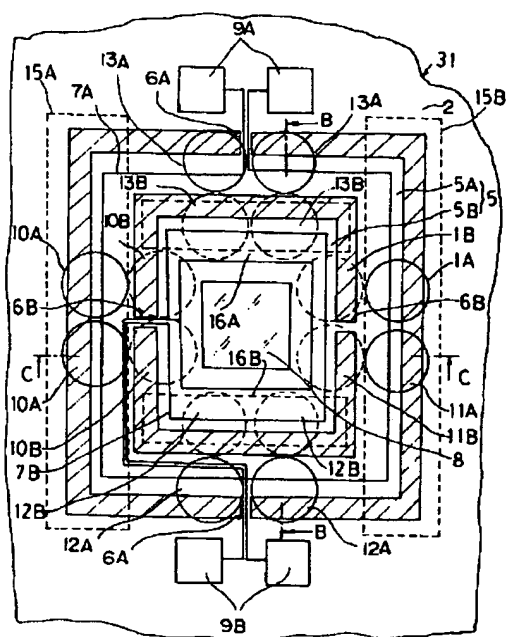
【图 18】



【图 19】



【图 2 1】



【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0005

【補正方法】変更

【補正内容】

【0005】

【発明が解決しようとする課題】ところで、ガルバノミラーでは、オープンループでミラーの変位角を制御するのが一般的であるが、ミラーの変位角を検出し、その検出信号をミラーの駆動系にフィードバックすることでミラーの変位角を高精度に制御することができる。そして、上述のようなプレーナー型ガルバノミラーにおけるミラーの変位角検出方法としては、図24に示すような光式と図25に示すような静電容量式等が考えられる。

【手続補正3】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0010

【補正方法】変更

【補正内容】

【0010】

【課題を解決するための手段】このため本発明のプレーナー型ガルバノミラーでは、半導体基板に、平板状の可動板と該可動板を半導体基板に対して揺動可能に軸支するトーションバーとを一体形成し、前記可動板の周縁部に可動板駆動用電流と変位検出用電流とを通电可能な平面コイルを敷設し、前記可動板の中央部に反射鏡を設ける一方、前記トーションバーの軸方向と平行な可動板の対辺の平面コイル部に静磁界を与える磁界発生手段を備える構成のプレーナー型ガルバノミラーであって、可動板揺動方向に、前記平面コイルと電磁結合可能で前記可動板の変位を検出するための複数の検出コイルを設け、これら検出コイルは、前記トーションバーに対して略対称位置に配置され、前記平面コイルに可動板駆動用電流に重畳して変位検出用電流を流す構成とした。

【手続補正4】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0012

【補正方法】変更

【補正内容】

【0012】 また、前記磁界発生手段は、半導体基板の上下面にそれぞれ上側基板と下側基板を設けてこれら上側基板と下側基板に固定する構成とするとよい。また、上側基板が、透光性を有するガラス基板で構成され、上下側基板と半導体基板とで囲まれる可動板収納空間を密閉空間として真空状態とする構成とするとよい。また、上側基板が、透光性を有するガラス基板で構成され、上下側基板と半導体基板とで囲まれる可動板収納空間を密閉空間とし、この密閉空間内に不活性ガスを封入する構成とするとよい。また、前記上側基板及び下側基板を絶縁基板とするとよい。また、磁界発生手段は、永久磁石とするとよい。

【手続補正5】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0013

【補正方法】変更

【補正内容】

【0013】 本発明のガルバノミラーの製造方法では、半導体基板のトーションバー形成部分を除いて基板の下面から上面に向けて異方性エッチングより貫通させて前記トーションバー部分で半導体基板に揺動可能に軸支される可動板を形成する工程と、可動板上面周囲に電解めっきにより平面コイルを形成する工程と、平面コイルで囲まれた可動板中央部にアルミニウムの蒸着により反射鏡を形成する工程と、半導体基板の上下面に陽極接合により下側基板と少なくとも可動板上方部分が光の通過が可能な構造の上側基板とを固定する工程と、トーションバー軸方向と平行な可動板の対辺に対応する上側基板部分と下側基板部分に磁界発生手段を固定する工程と、下側基板の所定位置に検出コイルを形成する工程とからなることを特徴とする。

【手続補正6】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0014

【補正方法】変更

【補正内容】

【0014】

【作用】かかる構成によれば、半導体素子製造プロセスを利用して半導体基板に反射鏡可動部を形成すると共に、反射鏡可動部に設けた平面コイルと電磁結合する反射鏡変位角検出用の検出コイルを設け、平面コイルに駆動電流に重畳して検出電流を通电する。これにより、反射鏡の変位角変化に応じて平面コイルと検出コイル間の相互インダクタンスが変化するので、この変化を検出すれば反射鏡の変位角が検出できる。

【手続補正7】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0026

【補正方法】変更

【補正内容】

【0026】 この全反射ミラー8の変位角 ϕ を制御する際に、平面コイル7に、駆動電流に重畳して駆動電流周波数（ミラー8の駆動周波数に関連する）に比べて少なくとも100倍以上の周波数で変位角検出用の検出電流を流す。すると、この検出電流に基づいて、平面コイル7と下側ガラス基板4に設けた検出コイル12A、12Bとの間の相互インダクタンスによる誘導電圧がそれぞれの検出コイル12A、12Bに発生する。検出コイル12A、12Bに発生する各誘導電圧は、可動板5、言い換えれば、全反射ミラー8が水平位置にある時には、検出コイル12A、12Bと対応する平面コイル7との距離が等しいことから等しくなりその差は零である。可動板5が前述

の駆動力でトーションバー6を支軸として回転すると、一方の検出コイル12A（又は12B）では接近して相互インダクタンスの増加により誘導電圧は増大し、他方の検出コイル12B（又は12A）では離間して相互インダクタンスの減少により誘導電圧は低下する。従って、検出コイル12A、12Bに発生する誘導電圧は全反射ミラー8の変位に応じて変化し、この誘導電圧を検出することで、全反射ミラー8の変位角 ϕ を検出することができる。

【手続補正8】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0039

【補正方法】変更

【補正内容】

【0039】 $Q_r = \epsilon S \sigma T^4 \cdots$ (9)

ここで、 ϵ は輻射率（黒体は $\epsilon=1$ で一般に $\epsilon<1$ ）、 S は素子の表面積、 σ はステファンボルツマン定数（ $\pi^2 k^4/60h^3 c^2$ ）、 T は素子の表面温度である。また、トーションバーからの伝導による放熱量 Q_a は下記の(10)式で表される。

【手続補正9】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0058

【補正方法】変更

【補正内容】

【0058】 以上説明したように、かかるプレーナー型ガルバノミラー1では、コイルの発熱による影響も無視でき、また、可動板5の揺動特性も何ら問題はなく、従来と同様の機能を発揮できることが判る。そして、半導体素子の製造プロセスを利用することによって、超小型で薄型のガルバノミラーとすることができる。このため、ガルバノミラーによるレーザ光のスキャンシステム小型化を図ることができ、延いては、このスキャンシステムを利用するレーザ応用機器の小型化が図れる。また、半導体素子の製造プロセスで製造することで、大量生産が可能となる。そして、平面コイル7に駆動電流に重畳して所定周波数の検出電流を流すと共に、下側ガラス基板4に平面コイル7と電磁結合させて一対の検出コイル12A、12Bを配置し、可動板5の変位に応じた平面コイル7と検出コイル12A、12Bとの間の相互インダクタンス変化を検出することで、可動板5、即ち、全反射ミラー8の変位角を検出するようにしたので、ミラーの変位角を精度よく検出でき、変位角の制御精度を向上させることが可能である。また、可動板5側に新たな構成を付加することなく、下側ガラス基板4側

に検出コイル12A、12Bを設けるだけでよく可動板5側の構成を変更する必要はないので、ミラーの変位角検出機能を容易に付加することができ、製造が容易である。

【手続補正10】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0059

【補正方法】変更

【補正内容】

【0059】 次に上記第1実施例のガルバノミラーの製造工程を、図12～図14を参照しながら説明する。厚さ300 μm のシリコン基板101の上下面を熱酸化して酸化膜（1 μm ）102を形成する（a工程）。次に、表裏両面にホトリソグラフにより貫通穴のパターンを形成し、貫通穴部分の酸化膜をエッチング除去し（b工程）、更に、可動板形成部の酸化膜を厚さ0.5 μm まで除去する（工程c）。

【手続補正11】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0086

【補正方法】変更

【補正内容】

【0086】

【発明の効果】以上説明したように本発明のガルバノミラーによれば、半導体基板に、可動板、この可動板を揺動可能に軸支するトーションバー、平面コイル及び反射鏡を形成し、半導体基板の上下に磁界発生手段を設ける構成とすると共に、前記平面コイルと電磁結合可能な検出コイルを設け、平面コイルに反射鏡駆動用電流に重畳して反射鏡変位検出用の検出電流を流すようにし、平面コイルと検出コイルの反射鏡変位に伴う相互インダクタンス変化を利用して反射鏡の変位角を検出する構成としたので、ガルバノミラーを半導体素子の製造技術を用いて形成でき、ガルバノミラーを極めて薄型化及び小型化でき、ガルバノミラーを用いた光のスキャンシステムの小型化を図ることが可能となり、延いては、レーザ光応用機器の小型化を達成できるという効果に加え、このようなプレーナー型ガルバノミラーのミラー変位角を精度良く検出することができ、変位角の制御精度を向上できる。また、可動板側に新たな構成を付加することなく、検出コイルを設けるだけでよいので、可動板側の構成を変更する必要はなくミラーの変位角検出機能を容易に付加でき、従来の変位角検出機能を付与する場合に比べて製造が容易となる。

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.